

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Návary s karbidy wolframu a jejich využití

Weld Deposits with Tungsten Carbides and
Their Application

Student:

Filip Fojtů

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jindřich Kozák

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Fojtů**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návary s karbidy wolframu a jejich využití**
Weld Deposits with Tungsten Carbides and Their Application

Zásady pro vypracování:

1. Posouzení současného stavu.
2. Návrh technologie navařování.
3. Provedení a vyhodnocení zkušebních návarů.
4. Diskuse dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost*. (Učební texty pro kurzy IWE/TWT). Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
HLAVATÝ, I. *Teorie a technologie svařování*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, poslední revize 20. 10. 2011. Dostupné z: < <http://fs1.vsb.cz/~hla80> >. ISBN 978-80-248-2414-7.
HRIVNÁK, I. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. Bratislava: Veda, 2009, 486 s. ISBN 97-880-2273-167-6.
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu I.*. Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001, 505 s. ISBN 80-7204-193-2.
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu II.*. Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 350 s. ISBN 80-7204-130-4.
TURŇA, M. *Špeciálne metódy zvarovania*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1989, ISBN 80-05-00097-9.

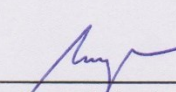
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

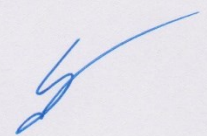
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jindřich Kozák**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



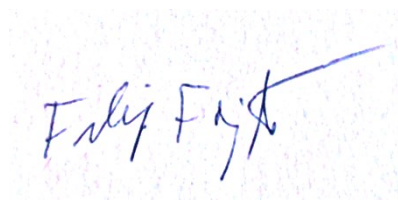

Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 19.5.2014

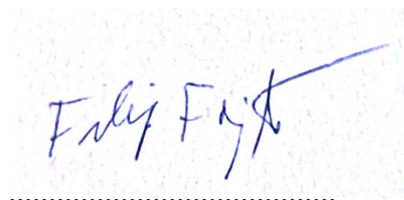
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Filip Fajt', is written over a light blue rectangular stamp. Below the signature, a dotted line indicates the position for a printed name.

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 19.5.2014



.....
podpis

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Filip Fojtů

Valašské Příkazy 78

Horní Lideč 75612

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Fojtů F. *Návary s karbidy wolframu a jejich využití : bakalářská práce*. Ostrava: VŠB–Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 45 s. Vedoucí práce: Ing. Kozák Jindřich

Bakalářská práce se zabývá problematikou návarů karbidů wolframu a jejich následnému využití. V teoretické části jsou vysvětleny základní pojmy, charakteristika karbidů a wolframkarbidů, jak z hlediska fyzikálních a chemických vlastností, tak i z hlediska historie a využití návarů s wolframkarbidy v praxi. Dále jsou definovány použité metody navařování a současný stav možností navařování. V praktické části práce jsou uvedeny parametry a vybrána metoda navařování s charakteristikou základního a přídavného materiálu. Závěr je zaměřen na samotnou přípravu a nafocení snímků struktury vzorků, měření tvrdosti a shrnutím výsledných poznatků.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Fojtů, F. *WeldDepositswithTungstenCarbides and TheirApplication : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2014, 45 p. Head of thesis: Ing. Kozák Jindřich

The bachelor thesis deals with tungsten carbides hardfacing and their subsequent use. In the theoretical part explains basic concepts, characteristics of carbides and tungsten carbides from field of study physical and chemical properties to history and use weld with tungsten carbides in practice. The following defines the methods used and the welding current status options surfacing. In the practical part of the thesis are listed parameters and selected welding method with the characteristics of base and filler material. Conclusion is dedicated to preparing and photographing images of structure of samples, hardness measurements and a summary of the resulting knowledges.

Obsah:

Úvod.....	10
I. TEORETICKÁ ČÁST	11
1 Posouzení současného stavu	11
1.1 Karbidy	11
1.2 Wolfram	12
1.2.1 Historie	12
1.2.2 Základní fyzikálně-chemické vlastnosti	12
1.2.3 Výskyt a výroba	14
1.2.4 Použití	14
1.3 Karbid wolframu	16
1.3.1 Vývoj karbidů wolframu	16
1.3.2 Charakteristika	18
1.3.3 Využití karbidů wolframu	19
1.4 Navařování	20
1.5 Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou	24
1.5.1 Charakteristika	24
1.5.2 Základní parametry	25
1.5.3 Kvalita svaru	26
II. PRAKTICKÁ ČÁST	27
2 Návrh technologie navařování	27

2.1 Základní materiál	27
2.1.1 Označování materiálu	27
2.1.2 Obecná charakteristika	27
2.1.3 Chemické složení.....	28
2.1.4 mechanické vlastnosti.....	28
2.2 Přídavný materiál.....	29
2.3 Parametry navařování	30
3 Provedení a vyhodnocení zkušebních návarů	31
3.1 Mikrostruktura a makrostruktura návaru	31
3.2 Měření tvrdosti.....	31
3.3 Hodnocení tvrdosti.....	31
3.4 Hodnocení makrostruktury a mikrostruktury	35
3.4.1 Makrostruktura	35
3.4.2 Mikrostruktura	37
4 Závěr	42
Použitá literatura	44

Seznam použitých symbolů a zkratek

(Fe,Mn)WO ₄	wolframan železnato-manganatý	
Ar	argon	
B	bór	
C	uhlík	
CaWO ₄	wolframan vápenatý	
Co	kobalt	
CO ₂	oxid uhličitý	
Cr	chrom	
Cu	měď	
ČSN	česká státní norma	
DIN	německá národní norma	
EN	evropská norma	
Fe	železo	
FTC	drcený wolframkarbid(FusedTungstenCarbide)	
HB	tvedost dle Brinella	
He	helium	
HRC	tvrdost dle Rockwella	
HV	tvrdost dle Vickerse (též HV10)	
I	svařovací proud	[A]
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci (IntenationalOrganizationforStandardization)	
KV	nárazová práce	[J]
L ₀	tažnost	[%]
MAG	obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	
MIG	obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu	
Mn	mangan	
Mo	molybden	
MOG	obloukové svařování tavidlem plněným trubičkovým drátem	
N	dusík	
NaOH	hydroxid sodný	
Na ₂ WO ₄	wolframan sodný	
Ni	nikl	

Obr.	Obrázek	
P	fosfor	
PA	Philladelphia	
PbWO ₄	wolframan olovnatý	
R _{eH}	mez kluzu	[MPa]
R _m	mez pevnosti	[MPa]
S	síra	
S ₀	průřez	[m ²]
Si	křemík	
SiO ₂	oxid křemičitý	
SFTC	sférický wolframkarbid(SphericalFusedTungstenCarbide)	
Sn	cín	
Tab.	tabulka	
TIG	svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu (tungsteninertgas)	
TOO	tepelně ovlivněná oblast	
U	svařovací napětí	[V]
W	wolfram	
W ₂ C	semikrabid wolframu	
WC	karbid wolframu	
WIG	svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu	
WO ₃	oxid wolframový	
Xe	xenon	
v	rychlost podávání svařovacího drátu	[m/min]
v _{sv}	rychlost postupu svařování	[mm/s]

Úvod

Jednou z nejvíce užívaných cest k úspoře je použití navařování opotřeбенých ploch. Vrstvy návarů přispívají ke zvýšení odolnosti proti opotřeбенí. Uplatňují se především tam, kde pro obtížné pracovní podmínky není možné dosáhnout potřebné jakosti povrchu žádným z běžně používaných způsobů tepelného nebo chemicko-tepelného zpracování. Vlivem daného opotřeбенí přestane mít součást předepsanou velikost a tvar, zařízení se stane méně účinným a spolehlivým a při dalším provozu může vše vygradovat do stavu poruchy a tudíž nefunkčnosti.[10; 11]

Velmi účinným opatřením, jimiž se zvyšuje odolnost opotřeбенí, je již zmíněné navařování funkčních povrchů a to vhodným návarovým materiálem. V opačném případě by bylo nutné vyrobit většinou celý díl z drahého materiálu. V mnoha případech je to jediné řešení, jak udržet dotyčné zařízení v provozu bez nákladných rekonstrukcí nebo bez snížení jeho výkonu. Návarové materiály, které pro tento účel používáme, mají různé vlastnosti. Jedny jsou vhodné pro práci s pískem a šterkem, jiné zase pro nástroje zpracovávající půdu. Volba hodnotnějšího materiálu než základní kov je nutná u součástí vysoce namáhaných, kde je nutností, aby jejich životnost byla co nejdelší. K tomuto účelu jsou k dispozici legované oceli, slitiny obsahující vyšší procento karbidotvorných prvků, tvrdé nezelezné slitiny na kobaltovém nebo niklovém základě a neméně exponované návary s karbidy wolframu, jejíž problematikou se zabývám ve své bakalářské práci.[10; 13]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 Posouzení současného stavu

Tato část práce bude věnována vysvětlení základních pojmů, popisu materiálů, jejich vývoji a použití v praxi.

1.1 Karbidy

Karbidy jsou sloučeniny uhlíku s elektropozitivnějšími prvky s výjimkou vodíku. Karbidy mají významné použití v průmyslu.

Karbidy lze rozdělit podle typu chemické vazby na sloučeniny:

- iontové,
- kovalentní,
- intersticiální
- přechodové (karbidy přechodných kovů), jejichž charakter je částečně iontový a částečně intersticiální).

Navíc řadíme mezi karbidy další binární sloučeniny uhlíku, jako jsou:

- interkalační sloučeniny grafitu,
- fulleridy alkalických kovů,
- endoedrické fullereny (s atomem kovu uzavřeným uvnitř fullerénové molekuly)
- metalkarboedreny (klastrové sloučeniny obsahující skupiny C₂).[14]

1.2 Wolfram

Wolfram (anglicky Tungsten) je šedý až stříbřitě bílý, velmi těžký a mimořádně obtížně tavitelný kov. Hlavní uplatnění nalézá jako složka různých slitin, v čisté formě se s ním běžně setkáváme jako s materiálem pro výrobu žárovkových vláken.[17]

1.2.1 Historie

Wolfram byl objeven roku 1781 švédským chemikem Wilhelmem Scheelem. Izolován byl až v roce 1783. Izolovali ho Juan Jose D'Elhuayar a Fausto D'Elhuayar. Nicméně již v roce 1555 používá rektor Latinské školy Mathesius v Jáchymově pro šedý, obtížně tavitelný kov název wolforma nebo wolfshar.–[16]

1.2.2 Základní fyzikálně-chemické vlastnosti

Bod tavení wolframu je nejvyšší ze všech kovových prvků. Významná je i jeho vysoká hustota, pouze některé drahé kovy jako např. zlato, platina, iridium a osmium jsou těžší. Za supernízkých teplot pod 0,0012 K je supravodičem I. typu.[17]

Chemicky je kovový wolfram velmi stálý – je zcela netečný k působení vody a atmosférických plynů a odolává působení většiny běžných minerálních kyselin. S kyslíkem a halogeny reaguje až za značně vysokých teplot. Pro jeho rozpouštění je nejúčinnější směs kyseliny dusičné a kyseliny fluorovodíkové. Nejsnáze se kovový wolfram rozkládá alkalickým tavením například se směsí dusičnanu draselného a hydroxidu sodného.[17]

Wolfram	
Atomové číslo	74
Relativní atomová hmotnost	183,84(1)
Elektronová konfigurace	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ²
Elektronegativita (Pauling)	2,36
Teplota tání	3 422 °C (3 695 K)
Teplota varu	5 555 °C (5 828 K)
Hustota	19,25 g.cm ⁻³
Hustota při teplotě tání	17,6 g/cm ³
Registrační číslo CAS	7440-33-7
Tvrdost	7,5
Měrný elektrický odpor při 20 °C	0,056 až 0,083 μΩ·m
Teplotní součinitel elektrického odporu	0,0045 až 0,0051K ⁻¹

Tab.1.1 Vlastnosti wolframu. [17]



Obr.1.1 Krystaly wolframu. [18]

1.2.3 Výskyt a výroba

Wolfram je na Zemi poměrně vzácný, jeho obsah se odhaduje na 1,5–34 mg/kg v zemské kůře. I v mořské vodě se wolfram nachází pouze v koncentraci 0,0001 mg/l. Ve vesmíru připadá jeden atom wolframu na 300 miliard atomů vodíku.

Hlavními minerály wolframu v přírodě jsou wolframit – wolframan železnato-manganatý, $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$; wolframan vápenatý, CaWO_4 a wolframan olovnatý, PbWO_4 .

Při metalurgické výrobě wolframu se obvykle nejprve mechanicky separují těžké frakce rudy a výsledný koncentrát se taví s hydroxidem sodným, NaOH. Tavenina se louží vodou, do níž přechází vzniklý wolframan sodný, Na_2WO_4 . Okyselením tohoto roztoku vypadá sraženina hydratovaného oxidu wolframového WO_3 .

1.2.4 Použití

Praktické použití wolframu se odvozuje od jeho vysoké hustoty a obtížné tavitelnosti.

Běžně se s ním setkáme jako s materiálem pro výrobu žárovkových vláken, kde je schopen po tisíce pracovních hodin snášet teploty značně přes 1000 °C. Vysoké teploty vlákno dosahuje průchodem elektrického proudu, přičemž vnitřní prostor žárovky je naplněn inertním plynem. V elektrotechnice se používá jako materiál pro katody elektronek.

Při svařování kovů elektrickým obloukem za použití wolframových elektrod (tzv. metoda TIG, WIG, 141) způsobuje elektrický proud procházející mezi elektrodami v inertní atmosféře (obvykle argon) roztavení zpracovávaných kovů bez úbytku materiálu elektrod.

Ve slitinách se přídavek wolframu projeví především zvýšením tvrdosti a mechanické i tepelné odolnosti. Rychlořezné oceli nabízené pod značkou Hastelloy a Stellite obsahují v některých případech až 18 % wolframu. Vyrábí se z nich kovoobráběcí nástroje, vrtné hlavice geologických nástrojů, turbíny a další vysoce teplotně a mechanicky namáhané součástky.[17]

Technicky důležitými sloučeninami wolframu jsou karbidy o složení WC a W_2C . Vyznačují se mimořádnou tvrdostí a využívají se jako součásti brusiv pro kovoobrábění a geologické aplikace.[17]

1.3 Karbid wolframu

Karbid wolframu je známý díky jeho výjimečné tvrdosti a odolnosti proti abrazivnímu či erozivnímu opotřebení. Slinuté karbidy wolframu jsou jedny z nejstarších a komerčně nejúspěšnějších produktů práškové metalurgie a jsou unikátní díky kombinaci mechanických, fyzikálních a chemických vlastností. V dnešní době se karbidy wolframu v různých podobách používají jako řezné nástroje či návary u součástí, které jsou vystaveny velkému opotřebení. Výroba nových součástí a renovace opotřebovaných dílců, zahrnující aplikaci návarů, obsahujících karbidy wolframu, umožňuje výrobním společnostem významně snížit náklady a zvýšit jejich životnost.[19]

1.3.1 Vývoj karbidů wolframu

První slinuté karbidy byly vyrobeny v roce 1914 pro použití v průvlecích drátů a také jako vrtáky, ve snaze vyhnout se vadám, vznikajícím v produktech při odlévání. Skládaly se z práškových karbidů wolframu či molybdenu nebo obou. Tyto prášky se dále lisovaly a spékaly těsně pod teplotou tání čistého WC. Výsledný produkt byl stále křehký a nepoužitelný v průmyslu.[19]

Dalším významným průkopníkem v oblasti výroby karbidů wolframu byl Friedrich Krupp. Ten se po získání patentu na výrobu WC věnoval rozsáhlému výzkumu, který vyvrcholil výrobou produktu jménem Widia (Wie Diamant – jako diamant), který se skládal převážně z karbidů wolframu důkladně promíchaného s kobaltovou maticí, která představovala 5-15% z celkového objemu materiálu. Tato obchodní značka se zachovala dodnes.

Následovalo rozšíření těchto materiálů se vznikem ekvivalenty produktů Widia. Například Carboloy, Dimondite a Strass Metal. I přes ekonomickou náročnost při výrobě karbidů wolframu bylo jejich využití v praxi výhodné a brzy se rozšířilo.

V roce 1937 představil karbid wolfram-titanu, který se ukázal jako velice účinný při obrábění oceli.

V posledních desetiletích bylo dosaženo dalšího významného pokroku v oblasti návrhu i výrobních technik (zvyšování čistoty prášku karbidů wolframu) a v neposlední řadě i

možných technologií aplikací karbidů wolframu. Tento vývoj vedl k novým oblastem aplikace a využití karbidů wolframu.[19]

1.3.2 Charakteristika

Karbid wolframu (WC) je bezkyslíkatá keramická látka, vyznačující se vysokou tvrdostí. Skládá se z uhlíku a wolframu a ve strojírenství se často nazývá ~~prostě~~ karbid.[20]

Karbid wolframu má velmi vysokou hustotu $15,8 \text{ g/cm}^3$, dobrou elektrickou vodivost a teplota tání je $2\,870 \text{ }^\circ\text{C}$. Tvrdost je 8,5 - 9 Mohsovy stupnice, srovnatelná s korundem. Vzniká jako šedý prášek, který lze lisovat a slinovat, případně s podílem kobaltu a niklu. Slinutý karbid je černošedý a dá se vyleštit do vysokého lesku. Dá se však brousit a leštit jen pomocí nejtvrděších materiálů, jako je karbid křemíku nebo diamant. Vedle karbidu se užívá také semikarbid wolframu (W_2C).[20]

Standardně se používají návary s vysokým obsahem uhlíku, chrómu a dalších legur s docela uspokojivými výsledky. V současné době se začínají prosazovat přídatné materiály s wolfram karbidy (WC). Výsledný návar je tvořen matricí se zrna WC. Tyto matrice mají vždy uvedenou svoji tvrdost. Do této matrice jsou „vlozeny“ zrna WC různého tvaru, velikosti a tvrdosti. Proč hovoříme o vložených zrnech. WC nespadá do slitin kovů, ale do keramik, konkrétně do neoxidických keramik, a nepodílí se aktivně na tvorbě struktury návaru, který tvoří slitiny matrice. U návarů tedy hovoříme o kompozitním materiálu a u žárových nástřiků je tento povlak označován jako kovokeramika nebo také jako cermet. Tato „vložená“ zrna mohou mít rozměry od mikronů pro aplikaci žárovým nástřikem, až po zrna v řádu milimetrů.[21]

V porovnání se standardními návary s vysokým obsahem uhlíku a chrómu je životnost návaru s WC 7 – 10 x vyšší. To i při vyšší ceně materiálů s WC zcela výrazně zvyšuje ekonomiku dílů opatřených návarem s WC. Kromě velikosti zrn je také volba ve tvaru zrn WC. Ty jsou buď jako drcený wolframkarbid označovaný také jako FTC (Fused Tungsten Carbide) nerovnoměrný, jehlicový tvar zrn, nebo jako sférický wolframkarbid označovaný také jako SFTC (Spherical Fused Tungsten Carbide) kulatý, rovnoměrný tvar zrn. Volitelný je samozřejmě i druh matrice, ve které jsou tato zrna zakotvena. Používají se matrice na niklové bázi nebo na bázi železa s martenzitickou strukturou. V případě nánosového pájení se používá jako matrice zvláštní pájka s obsahem Niklu. Tato pájka musí mít mimo jiné zvýšenou odolnost vůči abrazi a vyšší tvrdost než standardní pájky. Specialitou je sintrovaný (spékaný) wolframkarbid, je speciálně vyráběn pouze pro žárové nástřiky. Tvar zrn je kulatý a je sintrován většinou ve směsi s kobaltem. [21]

1.3.3 Využití karbidů wolframu

Karbidy wolframu v dnešní době nacházejí využití zejména v oblastech nástrojů pro těžbu uhlí a kamení, obrábění oceli apod. Dále se uplatňují ve výrobě dílů a nástrojů odolných proti různým druhům opotřebení, jako například opotřebení abrazivní či erozivní. Tato výroba zahrnuje jak součásti malé (kuličky pro kuličková pera), tak i ty větší (např. navařování povrchů válců válcovacích stolic v ocelářském průmyslu).

Využití karbidů wolframu v technické praxi, vzhledem ke svému širokému uplatnění, stále stoupá. Společnosti, používající tyto materiály, tak snižují své náklady a zároveň zvyšují životnost daných součástí a jejich produktivitu. V neposlední řadě nacházejí uplatnění ve zbrojním průmyslu a šperkařství.[19]

1.4 Navařování

Při navařování je na upravovaný povrch základního materiálu nanášena vrstva kovu. Navařováním se vytvoří metalurgický spoj mezi náwarem a základním materiálem. Metody, které se při tomto způsobu používají, jsou podobné metodám stejným jako při svařování i princip navařování je obdobný jako při svařování. Spočívá v roztavení a promísení přídavného materiálu se základním materiálem.

Přídavné materiály ve formě obalených elektrod, plněných elektrod, drátů, tyčinek, prášků, navařovacích past představují široký sortiment kovových a kompozitních materiálů s různými vlastnostmi. Volba přídavného materiálu a technologie navařování závisí na tvaru a rozměrech součásti, na chemickém složení základního materiálu, na způsobu namáhání, na druhu opotřebení a na celkových nákladech na navaření součásti. Jejich tribologické vlastnosti závisí na chemickém složení přídavného materiálu i na technologii navařování. Celá škála přídavných materiálů je velmi široká, prakticky každý výrobce vyrábí různé modifikace základních typů.

Při navařování první vrstvy návaru dochází k promísení přídavného materiálu s materiálem základním, a proto požadované vlastnosti se docílí až při použití vícevrstevných návarů. Velmi často se navařování používá pro renovaci opotřebovaných strojních součástí. V řadě případů lze dosáhnout větší životnosti u renovovaných součástí než u původních součástí.

Výhodou je též široké spektrum vyráběných přídavných materiálů a navařovacích technologií. K nevýhodám patří deformace navařovaných součástí, velmi hrubý povrch návaru s karbidy (nutnost opracování) a nebezpečí vzniku trhlin, které mohou iniciovat lom mechanicky namáhané součásti.

Kromě běžných vrstev se navařují také speciální vrstvy, které jsou odolné proti erozi, abrazi, kavitaci, teplotě, atd. Tyto vrstvy se používají např. při navařování částí dopravníků, zubů bagrů, hřídelí, v běžném užití se navařování používá při opravě temen kolejnic městských drah.

Podle Dawsona a kol. lze návarové materiály rozdělit na 7 skupin podle chemického složení, mechanických vlastností a vhodných aplikací (viz tab. 1.2). [9]

Odolnost proti erozivnímu a abrazivnímu opotřebení navařených povrchů je funkcí mnoha faktorů, ale základní je chemické složení a mikrostruktura, které závisí na parametrech navařování. Morfologie krystalizace a výsledná mikrostruktura návarových vrstev závisí na rychlosti navařování, na navařovacím proudu a napětí.

Volba přídavného materiálu závisí na analýze podmínek způsobujících opotřebení. Tvrdost je důležitým hlediskem při volbě návarového materiálu, ale odolnost proti abrazivnímu a erozivnímu opotřebení závisí i na dalších faktorech jako jsou druh, tvar a rozložení tvrdých fází, rovněž houževnatost a chování matrice při deformačním zpevnění. Elektrody s vysokým obsahem chrómu se v širokém měřítku používají pro svou nízkou cenu a dobrou odolnost proti kluzné abrazi. Dražší slitiny, které obsahují wolfram a vanad, kombinují tvrdost a houževnatost. Proto se volí v případech abrazivního opotřebení návarové slitiny obsahující karbid wolframu, kombinaci karbidů vanadu a wolframu nebo karbidy chrómu.[9]

Tab. 1.2 Rozdělení návarových materiálů. [9]

Typ návaru	Typické složení	Charakteristika návaru	Aplikace
Ocel s nízkým obsahem uhlíku	0,1C; 1Mn; 0,5Si; 0,8Cr; 0,5Ni; základ Fe	Struktura – ferit; tvrdost – 20-35 HRC; obrobitelný; houževnatý; není omezení v tloušťce návaru; nízká odolnost proti abrazivnímu opotřebení	Renovace součástí z nízkouhlíkových ocelí; kola, hřídele, ozubená kola, válce, vačky, čepy
Manganová ocel	1,1C; 14Mn; 1Ni; 0,5Mo; 2Cr; 0,5Si; základ Fe	Struktura – austenitická, tvrdost při zpevnění až 550 HB; houževnatá; tažná; nemagnetická; vynikající odolnost proti kombinaci abrazivního opotřebení a rázů	Renovace odlitků z austenitické manganové oceli, válce drtičů, tyče drtičů, kladiva mlýnů
Martenzitická ocel	0,5C; 1Mn; 0,5Si; 5Cr; 1,5Mo; základ Fe	Struktura – martenzitická, tvrdost - 45-60 HRC, pevná do 500°C, odolává vydrolování, dobrá odolnost proti abrazivnímu opotřebení, nízká rázová houževnatost a tažnost	Nemazané součásti podvozků traktorů, kola jeřábů, válce pro tváření trubek apod.
Návar Fe-Cr	4C; 20Cr; 2Mn; 1Si; 1Mo; 0,5Ni; základ Fe	Struktura – martenzit-austenit + karbidy M ₇ C ₃ , tvrdost - 45-60 HRC, obvykle praská, nutno navařit 2-4 vrstvy; výborná odolnost proti abrazivnímu opotřebení do 500°C	Zuby lžíce bagru, drtiče, korečky, řetězy dopravníku, kladiva kladivového mlýna, hrany škrabáku
Návar na bázi Cu	10Al; 1,5Fe; 0,3Sn; základ Cu	Nízké tření v dvojici s ocelí, odolává adhezivnímu opotřebení, odolává korozi, dobře obrobitelný, neomezená tloušťka, nevhodný do podmínek abrazivního opotřebení	Ozubená kola, ložiska, hřídele, formy, hydraulické písty, oprava odlitků na bázi Cu
Návar s WC	60% částice WC; zbytek nízkouhlíková ocel	Karbidy WC v ocelové matrici, obvykle praská po navaření, výborná odolnost proti abrazivnímu opotřebení, oxidace >400°C, navařit pouze 1 vrstvu	Šroubové vrtáky, vrtáky, řezné zuby, vrtné objímky, zařízení na řezání SiO ₂
Návary na bázi Co a Ni	28Cr; 5W; 1C; základ Co nebo Ni	Karbidy ve slitinové matrici, tvrdost - 40-55 HRC, dobrá tvrdost do 800°C, odolává adhezivnímu opotřebení za vysokých teplot, odolává erozivnímu opotřebení, kavitaci a nárazům	Nože, vodítka pro manipulaci s odlitky za tepla, zápusky na tváření za tepla

Mezi nejpoužívanější technologické metody při navařování patří:

- elektrickým obloukem
 - v ochranných plynech MIG 131, MAG 135, WIG (TIG) 141
 - ruční obalenou elektrodou 111
 - automatem pod tavidlem drátovou nebo páskovou elektrodou 121
 - plazmou a mikro plazmou 15
- plamenem 311
- laserem nevím číslo najdete 52
- hybridní – za použití laseru a obloukového svařování MIG/MAG [1; 13]

Nejrozšířenější je použití plamene nebo elektrického oblouku. Nanášení pomocí plamene je vhodnější pro menší díly a plochy. U větších dílů trvá provedení aplikace podstatně déle než při použití elektrického oblouku. Při použití trubičkových elektrod pro ruční obloukové navařování je maximální velikost zrn cca 3 mm, ale při přechodu přes elektrický oblouk se tyto zrna rozpadají na menší částice.[21]

Tento problém se v ještě větší míře týká metody MAG 135. Opět je zde přídavný materiál ve formě plněné elektrody plněného wolframkarbidem. Tyto materiály se vyrábějí v průměru 1,6 mm a právě tento relativně velký průměr přídavného materiálu může svádět ke snaze přidat na svařovacím zdroji větší parametry navařování, než jsou doporučené. Zde opět dochází k velkému rozpadu zrn a také rozkladu wolfram karbidu a nalegování matrice uhlíkem a wolframem. V tomto případě je to dáno příliš vysokou proudovou hustotou a tím i vysokou teplotou na oblouku.[21]

U zmíněné plněné elektrody je velikost zrn wolframkarbidu omezena již samotným průměrem drátu. Při potřebě mít v návaru větší zrna wolframkarbidu, např. vrtné korunky, odkorňovače aj., lze návar provést s tím, že se zrna WC dodávají externě do svarové lázně, tak aby neprocházela elektrickým obloukem. Díky tomu zůstane zachována původní velikost a tvar zrn WC. Takto zakotvená zrna WC jsou velmi odolná vůči opotřebení a celý návar má výrazně vyšší životnost.[21]

Návary s wolframkarbidy se provádějí také plazmovým obloukem, ale zde je velikost zrn v mikrometrech.[9]

Samostatnou kapitolou je nanášení těchto materiálů žárovými nástřiky, kde variabilita materiálů pro výsledný povlak umožňuje takové kombinace, které nejsou u návarů možné.[9]

1.5 Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou

Název obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře zahrnuje několik metod obloukového svařování založených na stejných principech při použití různých typů přídavných materiálů a ochranných plynů. [12]



Obr. 1.2 Svařování v ochranné atmosféře. [12]

1.5.1 Charakteristika

Principem obloukového svařování je hoření elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou a základním materiálem nebo svarovou lázní. Svařovací drát, který se odvíjí z cívky, je třecím kontaktem v měděné kontaktní špičce svařovacího hořáku napájen elektrickým proudem ze svařovacího zdroje s plochou statickou (neboli voltampérovou) charakteristikou. Elektrický oblouk je chráněn ochranným plynem, který chrání svarovou lázeň a zároveň napomáhá zapálení a stabilizaci elektrického oblouku. [12]

Největší výhodou metod svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře je poloautomatický režim podávání přídavného materiálu (svařovacího drátu), který svářečovi umožňuje snadněji tvořit housenku svaru a kontrolovat svarovou lázeň. Navíc se tím omezují časté technologické přestávky při výměně elektrod v porovnání např. s ručním

obloukovým svařováním. To vše přispívá k vyššímu výkonu odtavení, zvláště při větších průměrech elektrod a vyšších svařovacích proudech. Metodu lze použít pro svařování ve všech polohách, a to jak v dílně, tak na montáži při dosažení zhruba srovnatelné kvality svaru. Je dostupná široká paleta ochranných plynů i přídavných materiálů. Svařování lze snadno mechanizovat i robotizovat. Uvedené vlastnosti vynášejí tuto skupinu svařovacích metod na pomyslnou špičku užívání v celosvětovém měřítku.

V evropských zemích se rozlišují metody svařování v ochranných atmosférách tvořených inertními plyny zkratkou MIG a aktivními plyny nebo jejich směsí zkratkou MAG. Pro celou skupinu těchto metod bez rozlišení ochranných plynů se používá označení MIG/MAG. Svařování tavidlem plněnou elektrodou se označuje jako MOG.

1.5.2 Základní parametry

Základními parametry svařovacího procesu je svařovací proud I , napětí U , rychlost postupu svařování v_{sv} , rychlost podávání svařovacího drátu v , složení ochranných plynů a množství jejich průtoku.

Svařovací proud může nabývat hodnot od 30 A, používaných pro tenké plechy, až po 800 A u mechanizovaných metod. S rostoucím proudem se zvyšuje rychlost postupu svařování v_{sv} i rychlost podávání svařovacího drátu v . Ovlivňuje způsob přenosu kovu z tavící se elektrody v oblouku, tvar a velikost svarové housenky, nutnost předehřevu a dohřevu.

Svařovací napětí ovlivňuje šířku svarové housenky a stanovuje se empiricky v závislosti na svařovacím proudu I . [12]

Hodnotu průtoku svařovacího plynu většinou doporučují výrobci přídavného materiálu, orientačně se pohybuje cca od 8 do 25 l/min, ale při svařování hliníku v ochranné atmosféře 100 % He může spotřeba dosáhnout až 40 l/min.

1.5.3 Kvalita svaru

Kvalitu svarů ovlivňuje základní i přídavný materiál, ochranné plyny, klimatické podmínky svařování, technologický postup a v neposlední řadě lidský faktor.

U pojednáváných metod je minimální riziko vzniku indukovaných vodíkových trhlin, protože v přídavných materiálech nejsou navlhavá tavidla. U austenitických korozivzdorných ocelí existuje zvýšené riziko vzniku trhlin za horka. Neprovařený kořen a studené spoje jsou typické vady způsobené nevhodným technologickým postupem a lidským faktorem. Při nevhodných klimatických podmínkách může vítr odhouknout proud ochranného plynu, tím má svarová lázeň nemá dostatečnou ochranu, typicky na montáži, případně v halách bez svařovacích boxů. Další možné vady mohou vznikat použitím přídavných materiálů se zvýšeným obsahem nepřípustných prvků a nečistoty v inertních ochranných plynech, které jsou významné při svařování materiálů s vysokou citlivostí k obsahu nečistot, např. hliníku a jeho slitin, mědi a titanu, které mají vysokou afinitu ke vzdušnému kyslíku.[12]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 Návrh technologie navařování

Při experimentu bylo použito třech vzorků – ocelové desky s návary karbidů wolframu. Vzorky jsou označeny B605, B606 a B607. Některé části návaru byly vytrhány při odebrání vzorku řezáním.

2.1 Základní materiál

2.1.1 Označování materiálu

Materiál S235JR+N nebo také 1.0038 podle EN 10025-2:2004 je nelegovaná jakostní konstrukční ocel. S235JRG2 podle EN 10025:1990+ A1:1993, RSt 37-2 podle DIN 17100 a dříve 11 375 podle ČSN 42 0002.[5; 6]

2.1.2 Obecná charakteristika

Jako základní materiál byla použita nelegovaná jakostní konstrukční ocel. Je určena na ploché a dlouhé výrobky válcované za tepla, se zaručenou hodnotou nárazové práce při +20 °C. Ocel není určena k tepelnému zpracování, kromě výrobků dodávaných ve stavu +N, které mohou být následně po dodání tvářeny za tepla nebo normalizačně žíhány. Žíhání k odstranění vnitřního pnutí je dovoleno. Používají se ve svařovaných, šroubovaných a nýtovaných konstrukcích například pro stavbu hal, budov, mostů, jeřábů apod. Pro méně namáhané strojní díly a nosné konstrukce strojů. Ocel je vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí pevností se mohou vyskytnout trhliny za studena. Konečný stav dodávky - normalizačně válcováno, označení +N (ekvivalentní stavu po normalizačním žíhání).[7]

2.1.3 Chemické složení

Chemické složení oceli S235JR+N s rozmezím hodnot popř. s maximálními hodnotami těchto chemických prvků v [hm. %] je uvedeno v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Chemické složení oceli S235JR+N [4].

Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.
	≤16	>16≤40	>40					
	0,17	0,17	0,20					
Složení hotového výrobku	0,19	0,19	0,23	1,50	-	0,045	0,045	0,014

2.1.4 Mechanické vlastnosti

Základní mechanické vlastnosti oceli S235JR+N uvádí tab. 2.2. Mechanické vlastnosti jsou pro zkoušky v podélném směru.

Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti oceli S235JR+N [4].

Minimální mez kluzu R _{eH} MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250
235	225	215	215	215	195	185	175
Pevnost v tahu R _m MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
≥3≤100		>100≤150			>150≤250		
360-510		350-500			340-490		
Minimální tažnost v % (L ₀ = 5.65√S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
>3≤40	>40≤63	>63≤100		>100≤150	>150≤250		
26	25	24		22	21		
Minimální nárazová práce KV (J) při 20 °C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
≤150				>150≤250			
27				27			

2.2 Přídavný materiál

Jako přídavný materiál byl použit materiál STEIN-MEGAFIL A 864 M. K přídavnému materiálu vzorku B605 byly přimíchány zrna WC o velikosti 1-2 mm. Jedná se o vysoce legovaný plněný trubičkový drát pro navařování pomocí směsi Ar - CO₂. Lze ho použít i bez ochranného plynu.

Používá se při opravě techniky používané v důlních zařízeních a ocelárnách. Dále pro navařovací zařízení a nástroje používané ve stavebnickém průmyslu a zemědělství, zařízení pro stavbu silnic a dálnic, dopravní řetězy, míchací lopatky, komponenty čerpadel pro stavebnictví, atd.

Obsahuje dostatečné množství speciálních karbidů, které vytváří s borem, a proto má vynikající odolnost proti otěru písku a minerálů.

Svarový kov je opracovatelný pouze broušením. Doporučuje se technika přímočarého pohybu kladení housenky.

Označení TFe13 podle EN ISO 14700.

Chemické složení v hmot. % (typické hodnoty pro směsný plyn M21 82 % Ar / 18 % CO₂) jsou uvedeny v tab. 2.3.

Tab. 2.3 Chemické vlastnosti přídavného materiálu MegafilA864M [4].

C	Mn	Si	Cr	B	Ni
0,5	1,1	0,3	0,3	4,8	1,5

Obvyklá tvrdost čistého svarového kovu z 2. vrstvy je 60-68 HRC.[4]

Dosažená tvrdost, stejně jako struktura návaru závisí na (mimo jiné):

- základním materiálu
- svařovacích parametrech
- pracovní a interpass teplotě
- ohřevu
- ochlazování

- počtu vrstev
- metodě navařování
- tvaru komponenty

Průměr : 1,6 mm

Polarita: = +[4]

2.3 Parametry navařování

Na navařování vzorků byla použita technologie 135 (svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu Argon 50%/ Dusík 50%).

Parametry pro vzorek B605:

- proud 250A
- napětí 27V
- rychlost posuvu 4-5 mm/s
- průtok plynu 18l/min

Parametry pro vzorek B606:

- proud 220A
- napětí 24,8V
- rychlost posuvu 5-6mm/s
- průtok plynu 18litrů/min

Parametry pro vzorek B607:

- proud 260A
- napětí 33V
- rychlost posuvu 5-6mm/s
- průtok plynu 18l/min

3 Provedení a vyhodnocení zkušebních návarů

3.1 Mikrostruktura a makrostruktura návaru

Makroskopická a mikroskopická kontrola byla provedena dle ČSN EN 1321. Mikrostruktura i makrostruktura svarového spoje byla hodnocena v řezu v rovině kolmé na osu návaru. Metalografický výbrus vzorku byl připraven standardními technikami – broušením a leštěním. Mikrostruktura i makrostruktura byla zviditelněna chemickým leptáním. Mikrostruktura materiálu byla pozorována na světelném mikroskopu s digitálním fotoaparátem a to při zvětšení 200x a 500x.

3.2 Měření tvrdosti

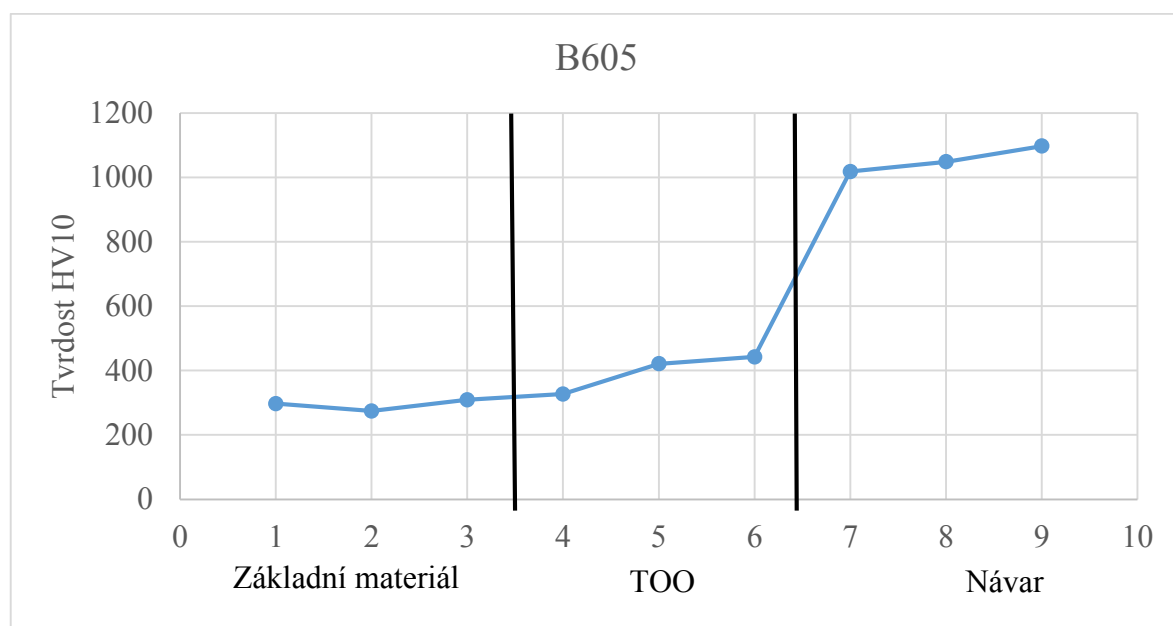
Tvrdost svarového spoje byla měřena Vickersovou metodou HV10 v souladu s ČSN EN ISO 6507 – 1. Tvrdost návarů byla hodnocena na každém vzorku 9 vtisky. Pro základní materiál (3 měření), tepelně ovlivněnou oblast (2 měření V TOO, 1 měření na hranici ztavení) a návar (3 měření).

3.3 Hodnocení tvrdosti

Naměřené hodnoty pro jednotlivé vzorky jsou zaznamenány v tabulkách (3.1, 3.2 a 3.3) a hodnoty jsou znázorněny v grafech (3.1, 3.2, 3.3).

Tab. 3.1 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku B605.

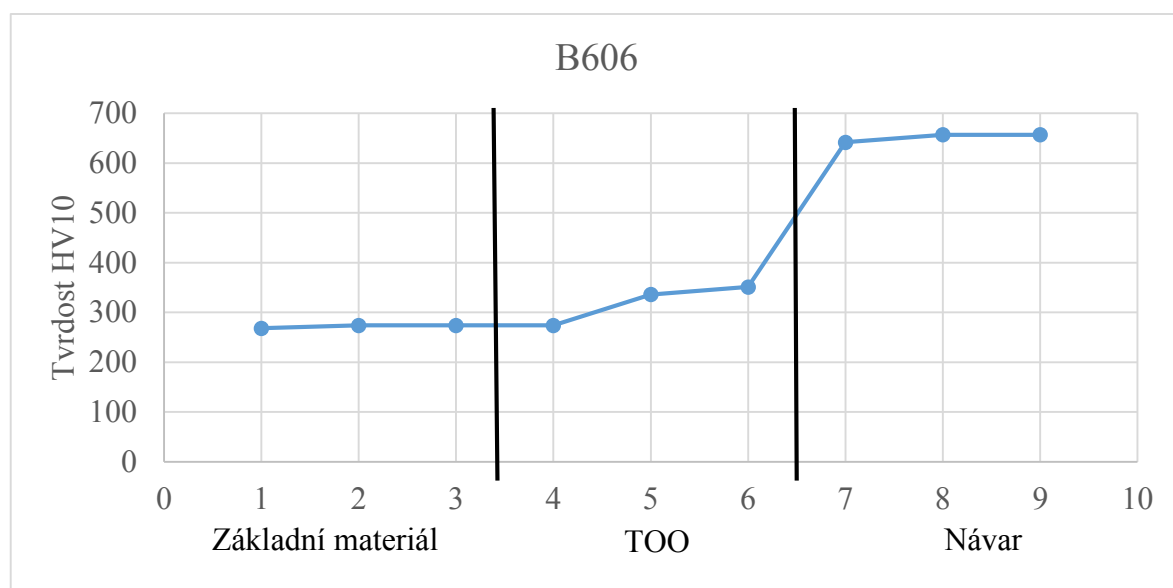
B605	
Základní materiál:	
1.	297 HV
2.	274 HV
3.	309 HV
TOO:	
4.	327 HV
5.	421 HV
6.	442 HV
Návar:	
7.	1018 HV
8.	1048 HV
9.	1097 HV



Obr. 3.1 Průběh tvrdosti vzorku B605.

Tab. 3.2 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku B606.

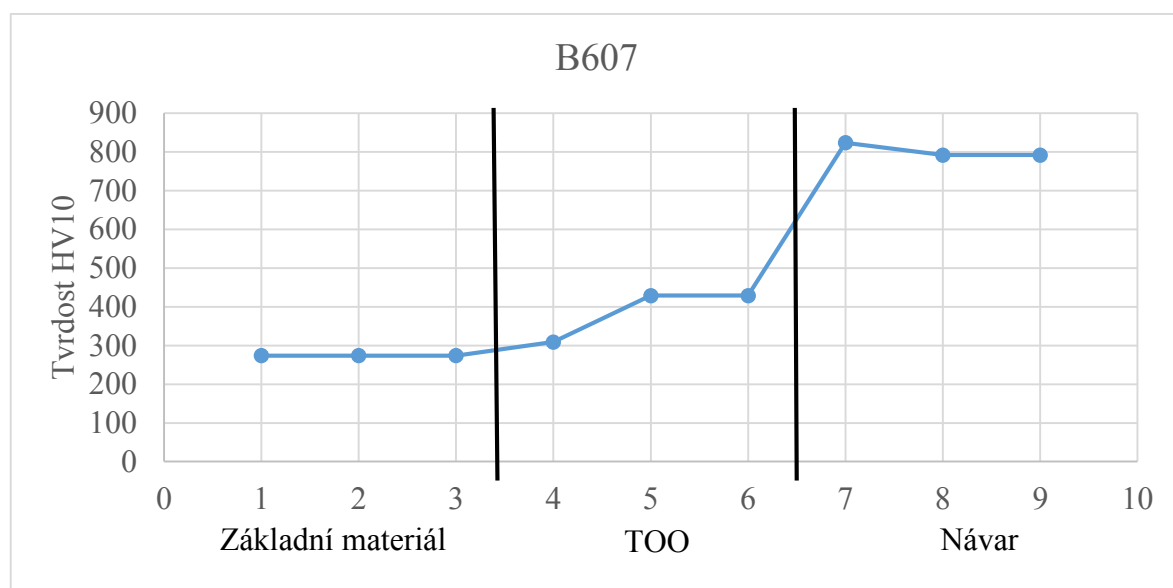
B606	
Základní materiál:	
1.	268 HV
2.	274 HV
3.	274 HV
TOO:	
4.	274 HV
5.	336 HV
6.	351 HV
Návar:	
7.	642 HV
8.	657 HV
9.	657 HV



Obr. 3.2 Průběh tvrdosti vzorku B606.

Tab. 3.3 Naměřené hodnoty tvrdosti vzorku B607.

B607	
Základní materiál:	
1.	274 HV
2.	274 HV
3.	274 HV
TOO:	
4.	309 HV
5.	429 HV
6.	429 HV
Návar:	
7.	824 HV
8.	792 HV
9.	792 HV

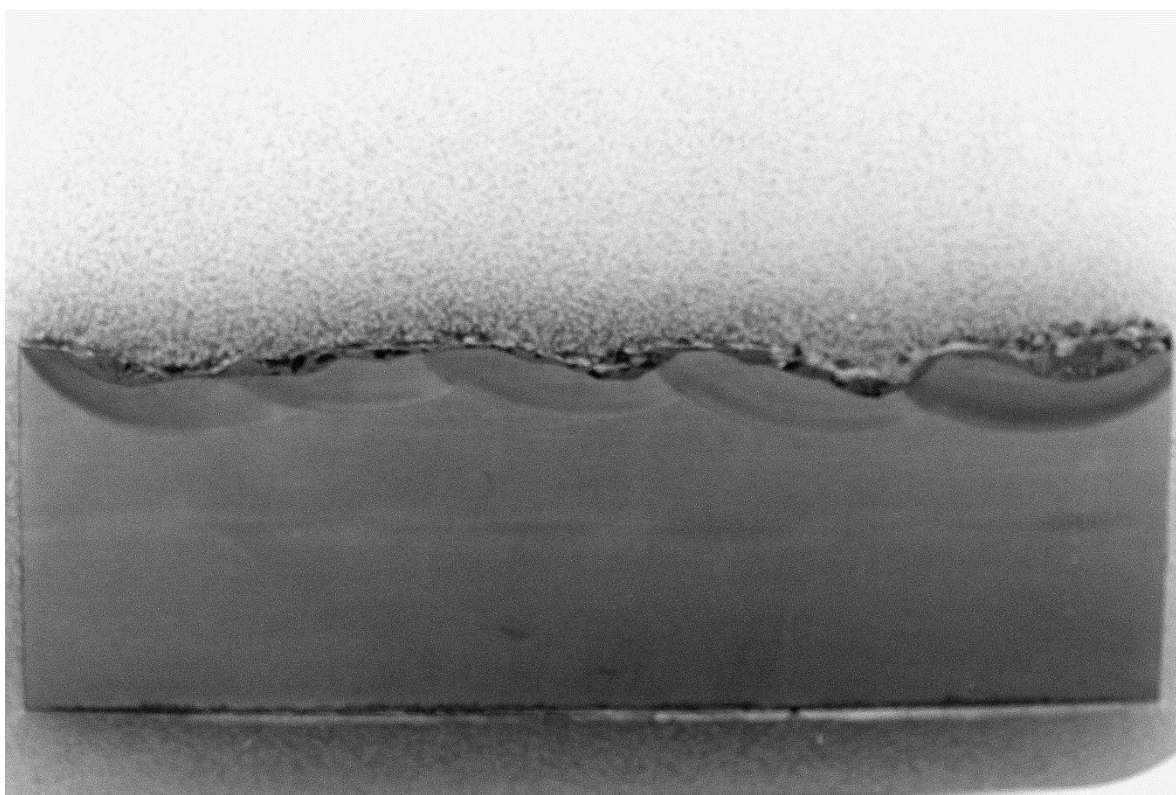


Obr. 3.3 Průběh tvrdosti vzorku B607.

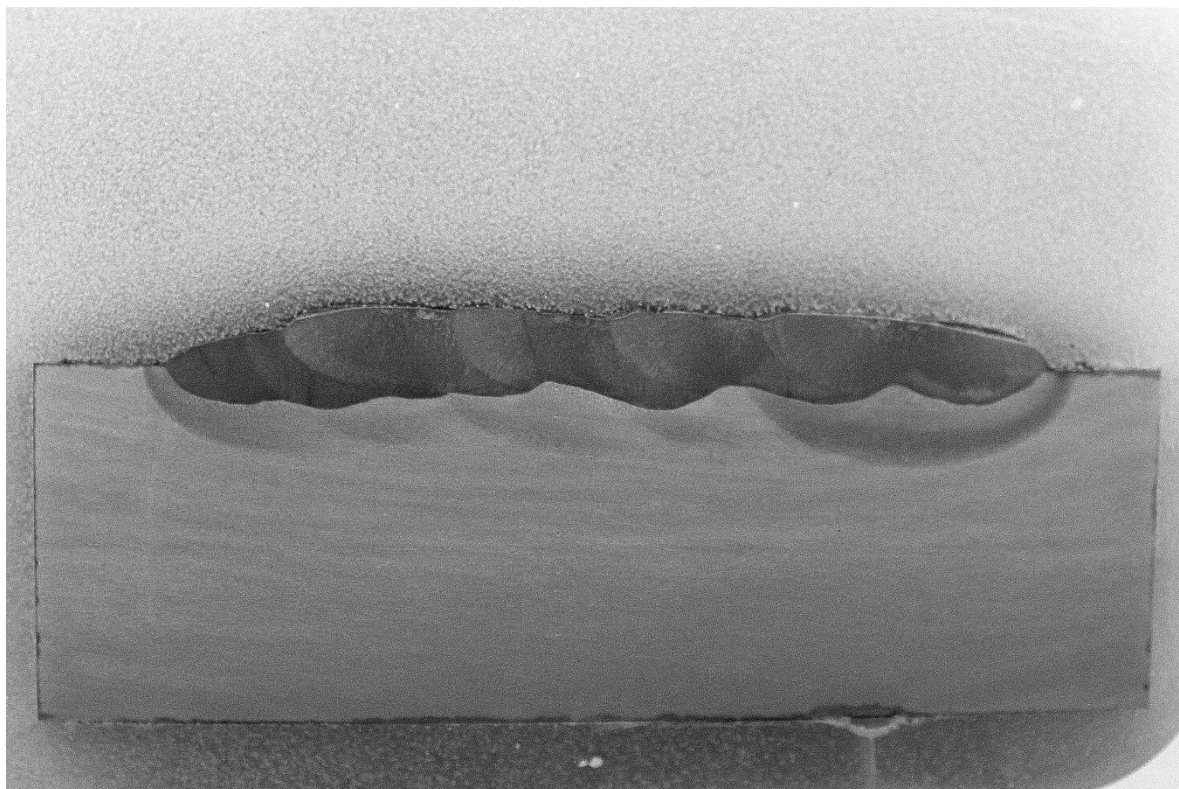
3.4 Hodnocení makrostruktury a mikrostruktury

3.4.1 Makrostruktura

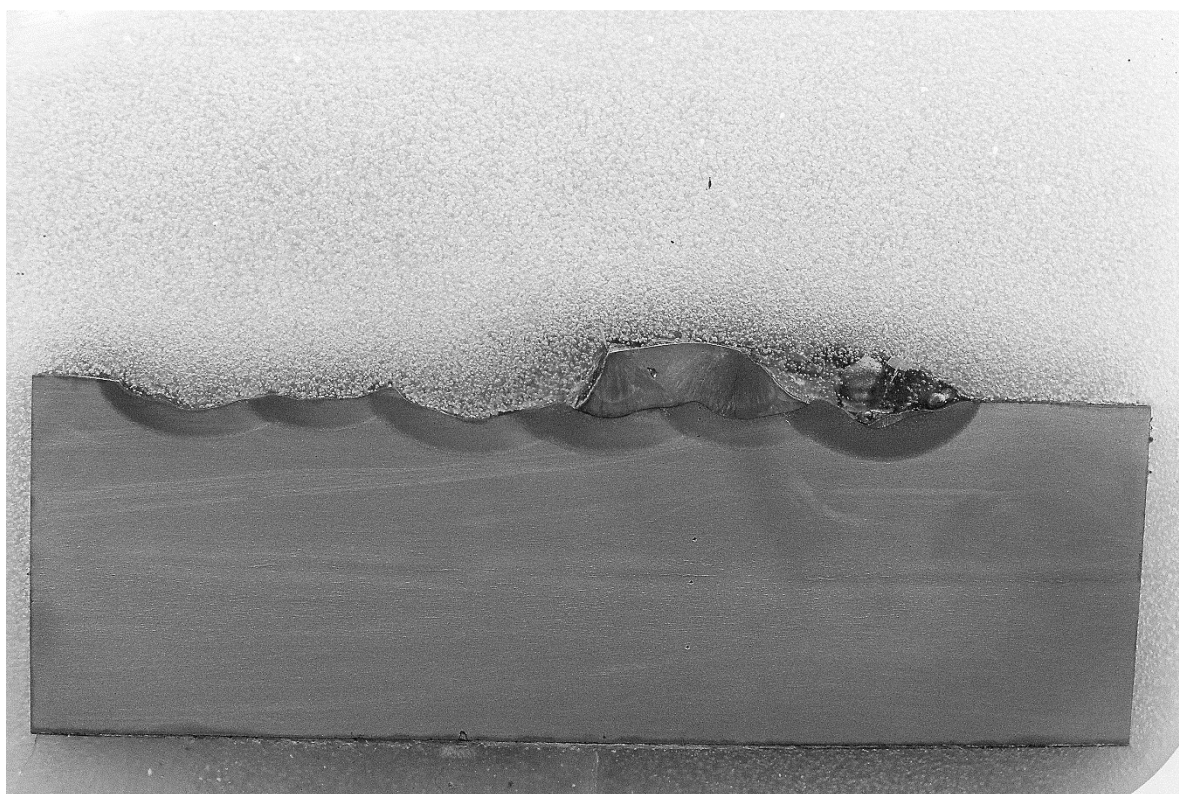
Z hlediska makroskopické analýzy byl u daného vzorku pozorovatelný typický obraz návaru. Jednotlivé vrstvy návarového kovu jsou kladené pravidelně s dobrým průvarem bez necelistvostí.



Obr. 3.4 Makrostruktura vzorku B605.(2:1)



Obr. 3.5 Makrostruktura vzorku B606.(2:1)



Obr. 3.6 Makrostruktura vzorku B607. (2:1)

3.4.2 Mikrostruktura

Mikrostruktura základního materiálu je složena z dolního bainitu, ze zrn s feriticko – bainitickou směsí a karbidů (viz. Obr. 3.7, 3.8).

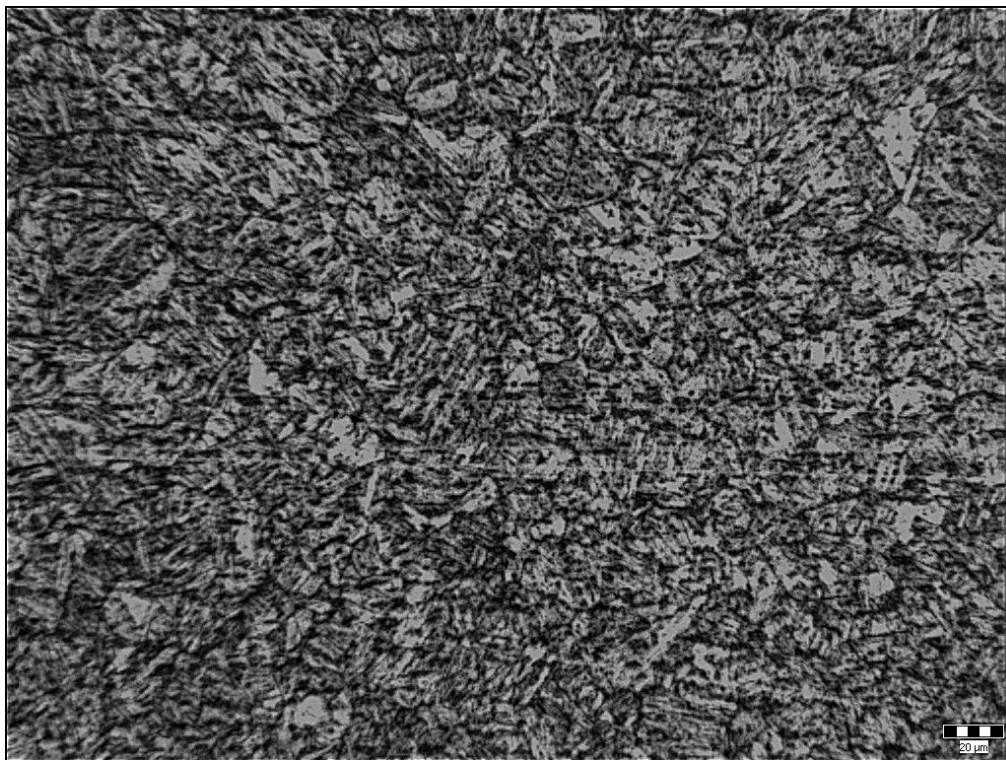
Mikrostrukturu vzorku B605 tvoří hrubé jehlice martenzitu, popuštěný martenzit s jemnými feritickými deskami a hrubé karbidy popuštěného martenzitu po hranicích zrn (viz. Obr. 3.9, 3.10).

Mikrostruktura vzorku B606 je tvořena horní bainitem s částečnými jehlicemi feritu a dolním bainitem s deskami feritu. Po hranicích zrn se vytváří hrubé karbidy (viz. obr. 3.11, 3.12).

Mikrostrukturu vzorku B607 tvoří hrubé jehlice martenzitu, popuštěný martenzit s jemnými deskami feritu, hrubé zrna popuštěného martenzitu s hrubými karbidy a martenzit s feritickými deskami (viz. obr. 3.13, 3.14) [2; 3; 22].

Tab. 3.4 Označení snímků pro hodnocení struktury svarového spoje

Vzorek	Zvětšení	Číslo obrázku
Základní materiál	200x	3.7
	200x	3.8
B605	200x	3.9
	200x	3.10
B606	200x	3.11
	200x	3.12
B607	200x	3.13
	500x	3.14



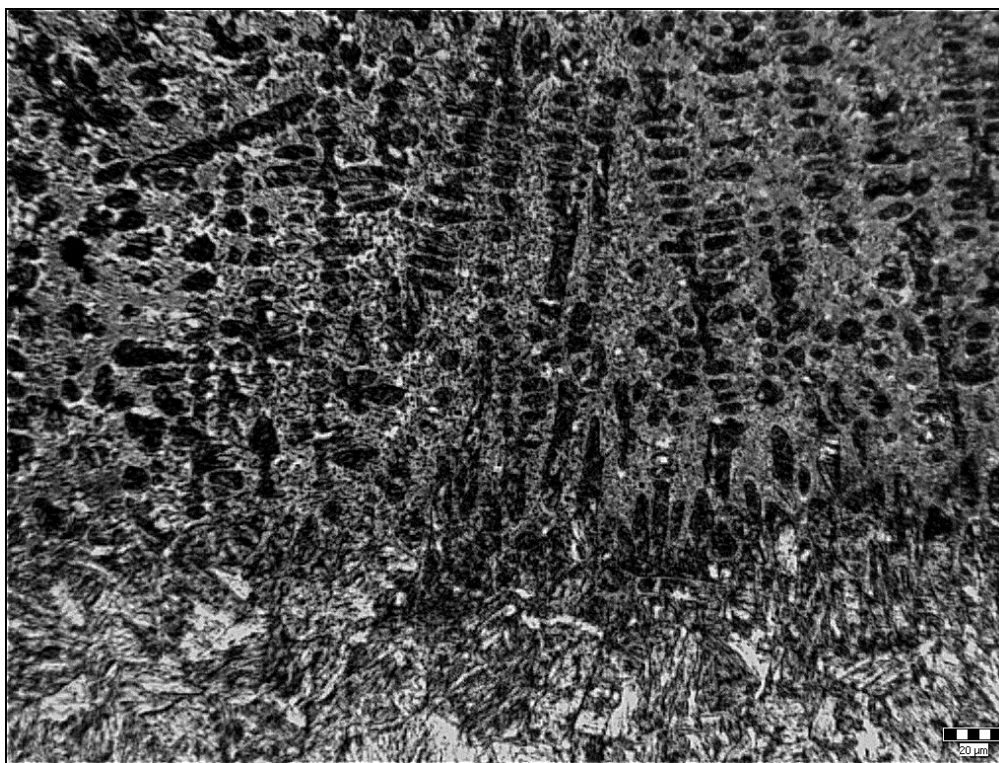
Obr. 3.7 Mikrostrukturač. 1 základního materiálu (200:1).



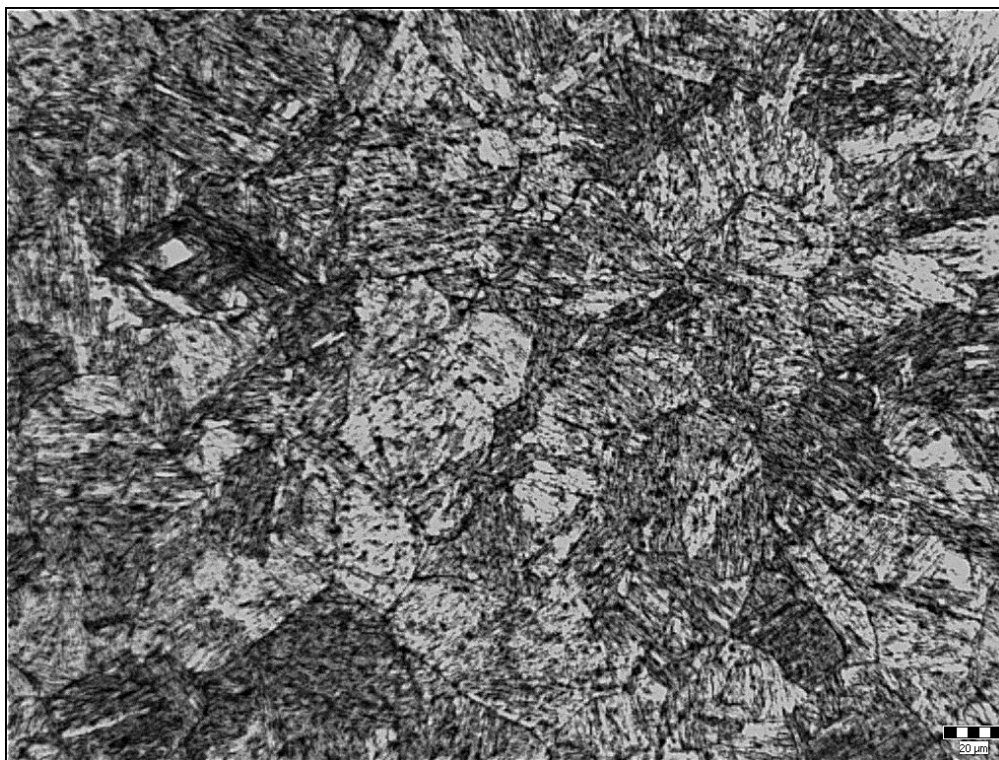
Obr. 3.8 Mikrostruktura č. 2 základního materiálu (200:1).



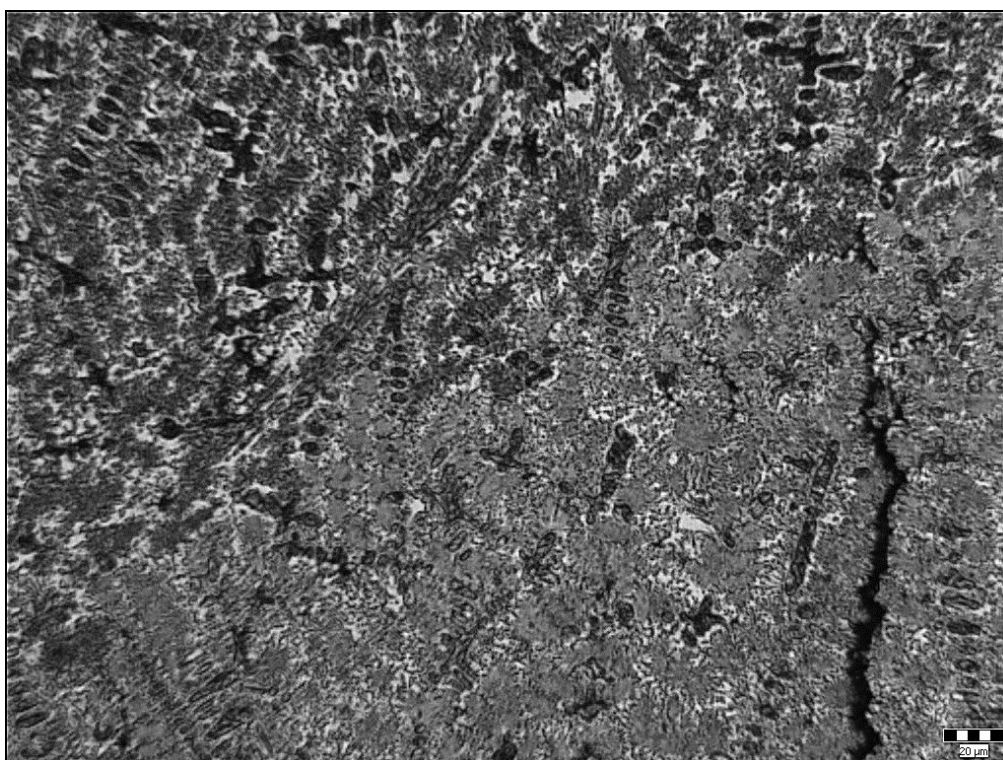
Obr. 3.9 Mikrostruktura vzorku B605 – hranice zrn (200:1).



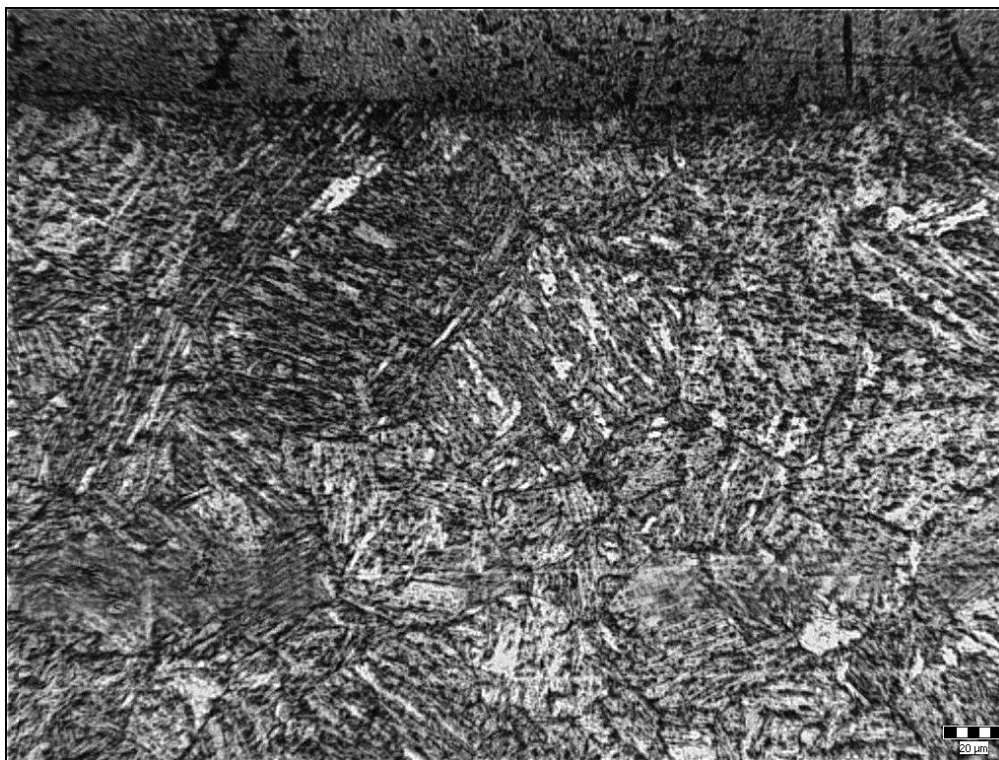
Obr. 3.10 Mikrostruktura vzorku B605 – návar (200:1).



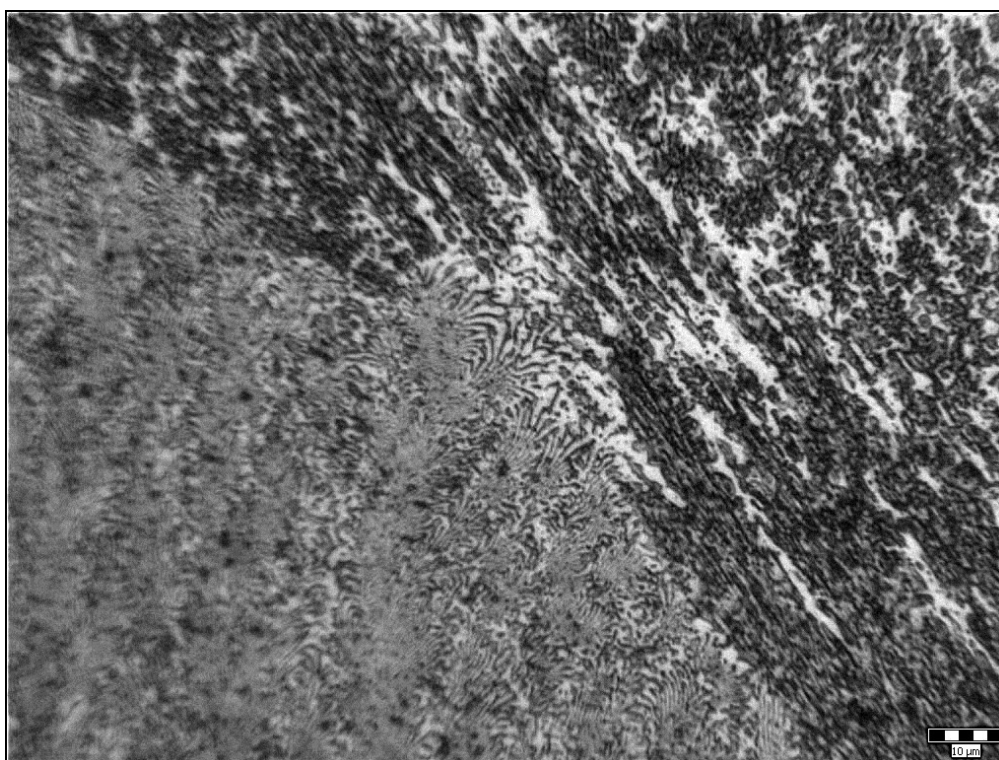
Obr. 3.11 Mikrostruktura vzorku B606 – hranice zrn (200:1).



Obr. 3.12 Mikrostruktura vzorku B606 – návar (200:1).



Obr. 3.13 Mikrostrukturavzorku B607 – hranice zrn (200:1).



Obr. 3.14 Mikrostruktura vzorku B607 – návar (200:1).

4 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá návary s karbidy wolframu a jejich využití. Cílem bylo navrhnout metodu navařování a analyzovat vzorky návarů s karbidy wolframu.

První část práce obecně charakterizuje karbidy a karbidy wolframu z hlediska fyzikálního a chemického pohledu. Dále pak jejich historii, vývoji a použití v praxi. Následně je rozebrána teorie samotného navařování.

Druhá část je zaměřena na návrh metody svařování, Dále je popsáno chemické složení základního i přídavného materiálu a mechanické vlastnosti základního materiálu a navařovací parametry pro jednotlivé vzorky.

Ve třetí části práce jsou pak analyzovány vzorky s návary karbidů wolframu měřením tvrdostí a posouzení makrostruktury a mikrostruktury. Jako základní materiál byl použit S235JR+N, což je nelegovaná jakostní konstrukční ocel, na kterou byly provedeny tři návary technologií 135. Přídavným materiálem MegafilA864M, kdy v případě prvního vzorku (B605) byly ještě přidány zrna WC o velikosti 1-2 mm. Pro každý zkušební vzorek byly použity odlišné parametry navařování.

Následně byly provedeny zkoušky návarů. Zkouška tvrdosti byla u každého vzorku provedena ve třech místech a výsledné hodnoty jsou přípustné. Makrostruktura byla po naleptání u všech tří vzorků shledána bez vad. Mikrostrukturu návaru vzorku B605 tvoří hrubé jehlice martenzitu. Mikrostruktura teplem ovlivněné oblasti u hranice ztavení tvoří jehlice martenzitu a popuštěný martenzit s karbidy. Mikrostruktura návaru vzorku B606 je složena z horního bainitu s částečnými jehlicemi feritu. Mikrostruktura teplem ovlivněné oblasti u hranice ztavení je tvořena horním bainitem. Mikrostrukturu návaru vzorku B607 tvoří martenzit a feritické desky. Mikrostruktura teplem ovlivněné oblasti u hranice ztavení je složena popuštěným martenzitem a jemnými deskami feritu.

Podle velikosti zrn WC a tvrdosti matrice lze určit, kde lze daný návar použít v praxi. Důležitým výsledkem této práce je zjištění, že změna nastavení navařovacích parametrů zásadně mění vlastnosti návarů.

Výsledky bakalářské práce jsou již používány při aplikaci návarů na díly namáhané opotřebením.

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichu Kozákovi z katedry mechanické technologie VŠB – TU Ostrava za odborné rady, připomínky a odkaz na literaturu, které výraznou mírou přispěly k vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji přátelům a spolužákům, kteří mi pomohli činem, radou, oporou a povzbuzením a své rodině za umožnění vysokoškolského studia.

Použitá literatura:

- [1] KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost*. (Učební texty pro kurzy IWE/IWT). Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [2] PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu I.2.* opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2003, 516 s. ISBN 80-7204-283-1.
- [3] PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu II.* 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [4] Bolzano.cz – *Přehled vlastností ocelí* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10025/>
- [5] Bolzano.cz – *Technické dodací předpisy (TDP) a uživatelský komentář* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: <http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10025/TDP/>
- [6] Eng-ova.cz – *Označení ocelí* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: http://www.eng-ova.cz/_files/eng-ova-07e3a4a7dc199dd877ec089fe3c96e30/csnen100252.pdf
- [7] Feron.cz – *Materiálové normy* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: http://www.feron.cz/cze/katalog/mat_normy.php
- [8] Anapol.ee – *MegafilA864M* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: http://www.anapol.ee/images/fsrv/dokumendid/Datasheets/DRAHTZUG/Megafil_A864M.pdf
- [9] Tribologie.cz – *Otěruvzdorné povrchové úpravy* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: http://www.tribologie.cz/dokuments/oteruvzdorne_povrchy_2012/05_suchanek.pdf
- [10] Mmspektrum.com – *Návary a jejich využití v praxi* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupný z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/navary-a-jejich-vyuziti-v-praxi.html>
- [11] Svarak.cz – *Abrázivní opotřebení vysokochrómových Fe-Cr-C návarů* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupný z: http://www.svarak.cz/navarovani_svarovani?limitstart=0
- [12] Wikipedie.cz – *Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupný z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Svařování_v_ochranné_atmosféře_tavící_se_elektrodou

- [13] Wikipedie.cz – *Navařování* [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupný z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Navařování>
- [14] Wikipedie.cz – *Karbidy* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Karbidy>
- [15] Prvky.com – *Wolfram* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: <http://www.prvky.com/74.html#vlastnosti>
- [16] Inkosas.cz – *Základní informace o wolframu* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: <http://www.inkosas.cz/download/wolfram/wolfram-zakladni-informace.pdf>
- [17] Wikipedie.cz – *Wolfram* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wolfram>
- [18] Geol.sci.hiroshima-u.ac.jp – *Mineral* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: <http://www.geol.sci.hiroshima-u.ac.jp/~mineral/museum/0802wolframite.jpg>
- [19] Kozák, Jindřich – *Historie a vývoj karbidů wolframu* [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2012, [cit. 2014-05-15]. Dostupný z: http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/48764/1/KozakJ_HistorieAvyvoj_2012.pdf
- [20] Wikipedie.cz – *Karbid wolframu* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupný z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Karbid_wolframu
- [21] Technikaatrh.cz – *Wolframkarbid-elita mezi návarovými materiály* [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupný z: <http://www.technikaatrh.cz/komponenty/wolframkarbid-elita-mezi-navarovymi-materialy>
- [22] Wikipedie.cz – *Bainit* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupný z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Bainit>